

中国科学院研究生院（金属研究所）

2012 年招收攻读硕士学位研究生复试专业综合试题

考生须知：

1. 本试卷满分为 100 分，全部考试时间总计 180 分钟，闭卷。
2. 所有答案必须写在答题纸上，写在试题纸上或草稿纸上一律无效。

必答题（共 60 分）

一、请解释下列概念（每题 1 分，共 5 分）：

晶粒；当量浓度；居里温度；比强度；潜热。

二、从物理概念（或物理公式）出发，解释为什么温度升高扩散会加速？（5 分）

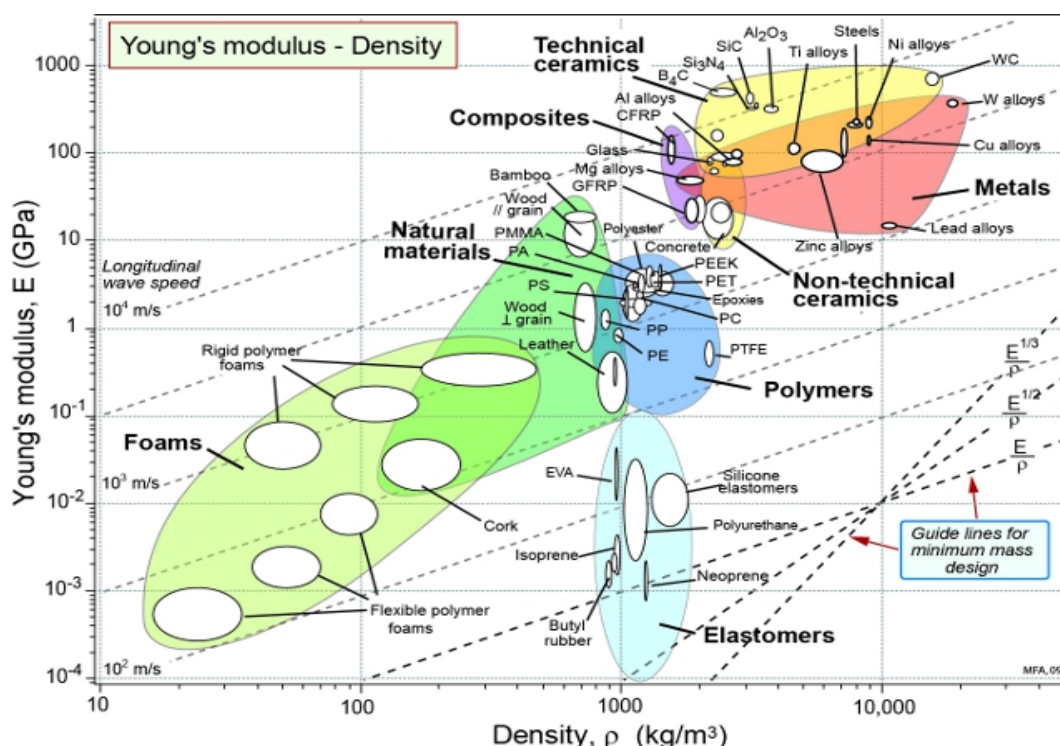
三、通过材料的简单拉伸实验可以确定材料的哪些重要物理量？（5 分）

四、小王手里有一个最多能称 3 公斤的弹簧秤，想称一根 4 公斤重的等截面的钢棒，钢棒不能截断，如何称？（5 分）

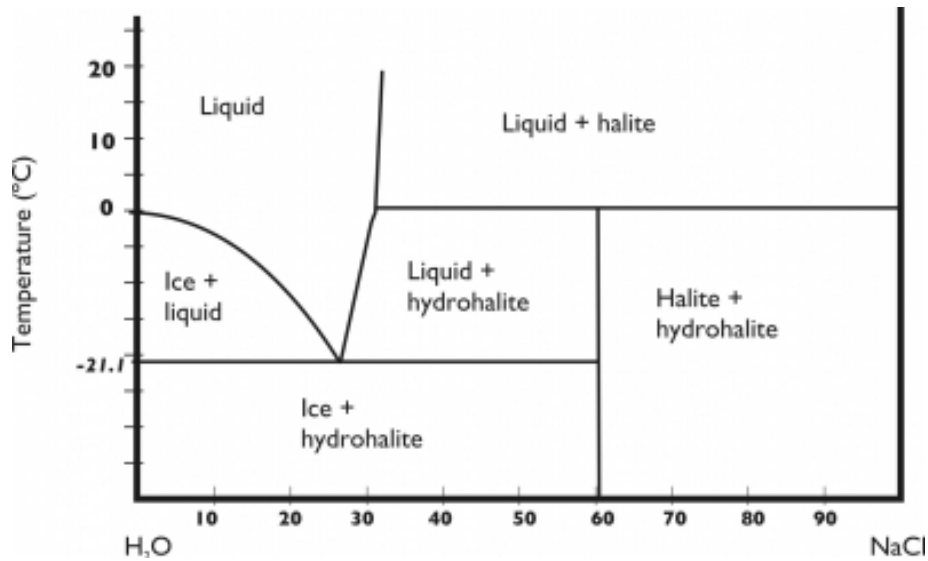
五、有两个相同容量的瓶子，里面分别装了同样体积的黑墨水和红墨水，取一勺黑墨水瓶中的黑墨水到红墨水瓶中，搅拌均匀后，取一勺红墨水瓶中的墨水到黑墨水瓶中，问红墨水瓶中的黑墨水和黑墨水瓶中的红墨水哪个多？为什么？（5 分）

六、碳元素有哪些同素异构体？为什么碳有这么多同素异构体？（5 分）

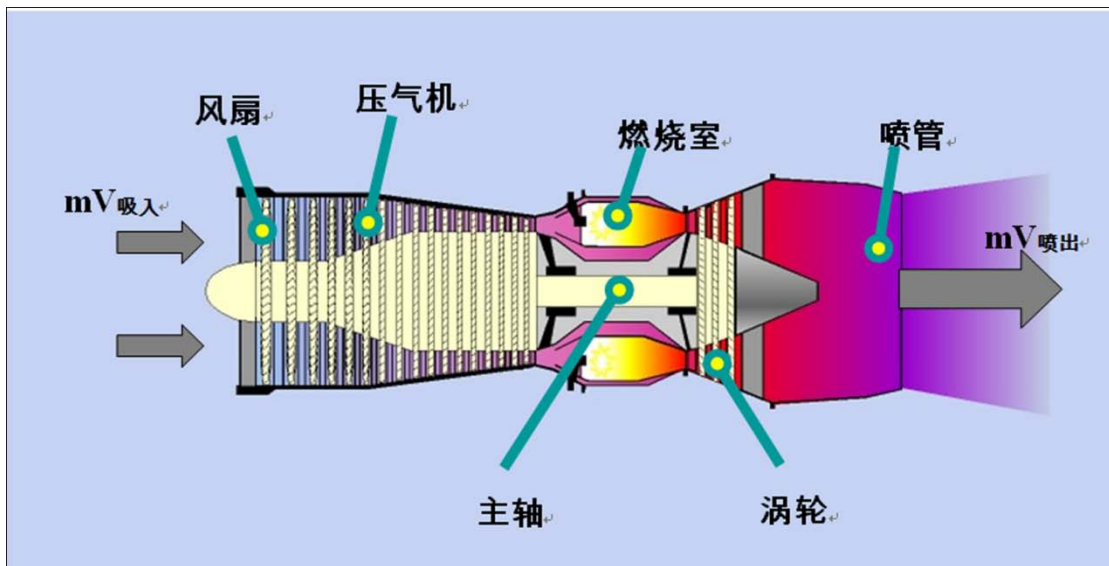
七、试解读下图，从中发现材料弹性模量和密度之间的关系及规律。（5 分）



八、根据盐水相图（见下图）判断盐水作为冷却剂的最低温度？路面撒盐除冰雪的原理是什么？在沈阳冬天最冷的时候（-25℃以下）有没有效果？为什么？（5分）



九、航空发动机的工作原理是：通过风扇把空气吸到发动机里，吸入的空气在压气机内被压缩成高压气体，高压气体在燃烧室内和油料混合，点火燃烧形成高温高压气体，然后喷到涡轮叶片上驱动叶片高速旋转，通过主轴把旋转传递给风扇和压气机叶片，驱动它们工作。另一部分燃气流从发动机的尾部喷出，推动飞机飞行（如下图）。目前发动机中涡轮叶片材料的初熔温度约为 1300℃，而其工作的环境温度约为 1500℃。根据上述原理给出发动机推力的数学表达式，简述如何提高发动机的效率，采用那些方法可以防止涡轮叶片熔化？（10分）



十、阅读下面的科技论文，然后写一篇 150-200 字的中文摘要。（10分）文章内容详见附页。

选答题（请从以下四类中任选一类，共 40 分）

材料类（共 40 分）

一、名词解释（每题 1 分，共 5 分）

晶带定律； 吉布斯相律； Kirkendall 效应（柯肯达尔效应）； 动态再结晶； 热膨胀。

二、简答题（每题 2.5 分，共 10 分）

1. 简述典型金属凝固时，固/液界面的微观结构种类以及对应的晶体生长方式。
2. 简述金属塑性变形时，滑移和孪生的区别。
3. 简述晶体缺陷的类型。
4. 画出典型金属材料应力-应变曲线，并简述弹性和塑性变形的区别。

三、选择题（答案可多选）(每题 3 分，共 9 分)

1. 影响溶质原子在晶体中扩散的因素有（）

A、温度 B、晶体缺陷 C、晶体结构 D、晶体各向异性 E、扩散原子性质与基体金属性质差别 F、溶质浓度 G、与其它组元的相互作用

2. 螺形位错的特征有（）

- A、螺形位错无额外半原子面，原子错排是呈轴对称的
- B、纯螺旋型位错的滑移面是唯一的
- C、根据螺旋位错线附近呈螺旋形排列的原子的旋转方向不同，可分为左旋和右旋位错
- D、螺旋位错线与滑移矢量平行，因此一定是直线
- E、螺旋位错线的移动方向与晶体滑移方向互相垂直
- F、螺旋位错线周围的点阵存在弹性畸变，点阵畸变量随离位错线距离而缓慢减少

3. 不同的组元组成合金时，影响形成固溶体，还是形成金属间化合物的主要因素有（）

A、电负性 B、原子尺寸 C、电子浓度 D、晶体结构 E、组元熔点

四、分析题（注意：1 和 2 题为必答题，每题 5 分；3 和 4 题中任选一题作答即可，多答无效，6 分）

1. 分析合金材料的强化途径及原理。

2. A 和 B 元素形成二元相图如图 1。

1) 在平衡凝固条件下，I 和 II 合金凝固后的相组成是什么？

2) 示意画出 II 合金平衡结晶后组织示意图，并计算室温下 α 和 β 相的相对量。

3) 如果冷却速度较快，I 合金凝固后的相组成是什么？

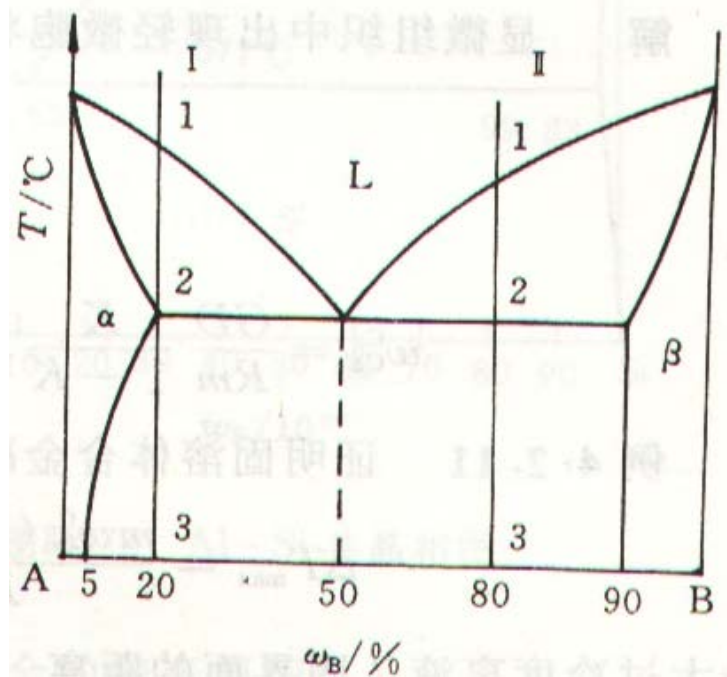


图1 A-B 二元相图

3. 写出 Hall-Petch 公式，叙述晶粒尺寸对金属材料室温和高温力学性能的影响，在生产中如何控制材料的晶粒度。
4. 对含 0.1 wt.% C 的钢进行渗碳处理，渗碳时钢件表面的碳浓度保持为 1.2 wt.%，要求渗碳后在其表面以下 0.2 cm 处碳浓度为 0.45 wt.%，假设钢件尺寸很大，渗碳过程中中心 C 浓度保持 0.1wt.% 不变，求渗碳所需的时间。已知碳在钢中的扩散系数为 $D=2 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ ， $\frac{x}{2\sqrt{Dt}}$ 所对应的误差函数值见表 1（D 和 t 分别为 C 扩散系数和扩散时间）：

表 1 $\frac{x}{2\sqrt{Dt}}$ 与 $\text{erf}(\frac{x}{2\sqrt{Dt}})$ 的对应值

$\frac{x}{2\sqrt{Dt}}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.0000	0.0113	0.0226	0.0338	0.0451	0.0564	0.0676	0.0789	0.0901	0.1013
0.1	0.1125	0.1236	0.1348	0.1459	0.1569	0.1680	0.1790	0.1900	0.2009	0.2118
0.2	0.2227	0.2335	0.2443	0.2550	0.2657	0.2763	0.2869	0.2974	0.3079	0.3183
0.3	0.3286	0.3389	0.3491	0.3593	0.3694	0.3794	0.3893	0.3992	0.4090	0.4187
0.4	0.4284	0.4380	0.4475	0.4569	0.4662	0.4755	0.4847	0.4937	0.5027	0.5117
0.5	0.5205	0.5292	0.5379	0.5465	0.5549	0.5633	0.5716	0.5798	0.5879	0.5959
0.6	0.6039	0.6117	0.6194	0.6270	0.6346	0.6420	0.6494	0.6566	0.6638	0.6708
0.7	0.6778	0.6847	0.6914	0.6981	0.7047	0.7112	0.7175	0.7238	0.7300	0.7361
0.8	0.7421	0.7480	0.7538	0.7595	0.7651	0.7707	0.7761	0.7814	0.7867	0.7918
0.9	0.7969	0.8019	0.8068	0.8116	0.8163	0.8209	0.8254	0.8299	0.8342	0.8385
1.0	0.8427	0.8468	0.8508	0.8548	0.8586	0.8624	0.8661	0.8698	0.8733	0.8768

物理类（共 40 分）

- 一、晶体、非晶体和准晶体的原子排列方式有什么不同，他们的衍射花样有什么区别（用简图说明）？（5 分）
- 二、位错环的柏氏矢量 b 与切应力同向时位错环会如何变化（扩大、缩小），并简述其原因。（5 分）
- 三、用图示说明绝缘体、半导体和导体的电子密度分布有什么本质区别。（5 分）
- 四、简单立方金属的点阵常数为 0.25nm ，一个对称倾斜晶界取向差为 2.5 度，晶界上的柏氏矢量为 $\langle 100 \rangle$ ，计算该晶界的位错密度。（5 分）
- 五、晶格振动的声学波和光学波晶格振动方式有什么不同？（5 分）
- 六、多体电子波函数有时以平面波为基展开（为赝势平面波法），有时用轨道波函数展开（如紧束缚近似），这两种方法的应用范围有什么不同？（5 分）
- 七、从周期场电子波函数说明布拉格方程的必然性。（5 分）
- 八、粒子的动量算符为 $P_x = -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$ ， $P_y = -i\hbar \frac{\partial}{\partial y}$ ， $P_z = -i\hbar \frac{\partial}{\partial z}$ ，如果 $\psi(x, y, z)$ 是 P_x 的本征波函数，即 $-i\hbar \frac{\partial}{\partial x} \psi(x, y, z) = P_x \psi(x, y, z)$ ，证明 $\psi(x, y, z)$ 不是算符 $F(x)$ 的本征波函数。（5 分）

加工类（共 40 分）

一、概念题（每题 2 分，共 10 分）

流动应力；枝晶；微连接；液化裂纹；逆偏析。

二、简答题（每题 4 分，共 12 分）

1. 解释熔渣在焊接中的作用。
2. 举例说明铸造过程中如何通过控制过冷度细化晶粒，减少缺陷。
3. 简述粉末烧结致密化过程及其影响因素。

三、分析题（每题 6 分，共 18 分）

1. 请解释金属塑性变形时平均应力对塑性的影响规律和原因，并分析当最大主应力和最小主应力分别为拉应力和压应力且大小相等时，中间主应力的大小和方向对变形趋势有何影响？
2. 根据结晶温度范围，都有哪些铸造凝固方式，各有何特征，有哪些相关方法改变凝固方式？
3. 请从铝合金的材料特点出发，分析铝合金材料在焊接过程中的技术难点，并据此提出相应的解决措施？

化学类 (共 40 分)

一、填空题 (每小题2分, 共20分)

1. 在下列溶液中, 能与 H_2O_2 共存的是 ()
A: H_2S B: SO_2 水溶液 C: CuSO_4
2. 在地壳中含量最多, 分布最广的元素是 ()
A: C B: O C: S
3. O_3 在地球上的重要作用是 ()
A: 作氧化剂 B: 保护地球上的生命 C: 用于呼吸
4. CO的毒性是它的 ()
A: 还原性 B: 可燃性 C: 配合性
5. Ag I 在下列浓度相同的溶液中, 溶解度最大的是 ()
A: KCN B: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ C: $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
6. 波尔多液是 $\text{CuSO}_4 + \text{CaO}$ 配成的农药乳液, 它的有效成份是 ()
A: CuSO_4 B: CaSO_4 C: $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ D: $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{SO}_4$
7. Fe_3O_4 与HCl作用的产物为 ()
A: $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O}$ B: $\text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ C: $\text{FeCl}_3 + \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
8. 下列元素中, +3态化合物的氧化性最弱的是 ()
A: Fe B: Co C: Ni
9. 下列放热反应在标准状态下任何温度下都能自发进行的是 ()
A: $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
B: $2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{CO}_2(\text{g})$
C: $2\text{C}_4\text{H}_{10}(\text{g}) + 13\text{O}_2(\text{g}) = 8\text{CO}_2(\text{g}) + 10\text{H}_2\text{O}(\text{g})$
D: $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) = 2\text{NH}_3(\text{g})$
10. 下列物质 (1) CaO (2) MgO (3) NH_3 (4) PH_3 熔点由高到低的顺序是 ()
A: (1) > (2) > (3) > (4) B: (2) > (1) > (3) > (4)
C: (2) > (1) > (4) > (3) D: (1) > (2) > (4) > (3)

二、简答题 (每题 3 分, 共 12 分)

1. 为什么食盐和冰混合物可以用作制冷剂?
2. 最难液化的气体是什么? 说明原因。
3. 实验证明 N_2 的离解能大于 N_2^+ 的离解能, 而 O_2 的离解能小于 O_2^+ 的离解能, 试述原因。
4. 试讨论, 为什么有的元素的相对原子质量 (原子量) 的有效数字的位数多达9位, 而

有的元素的相对原子质量（原子量）的有效数字却少至3~4位？

三、论述题（8分）

配位化学创始人维尔纳发现，将等质量黄色 $\text{CoCl}_3 \cdot 6\text{NH}_3$ 、紫红色 $\text{CoCl}_3 \cdot 5\text{NH}_3$ 、绿色 $\text{CoCl}_3 \cdot 4\text{NH}_3$ 和紫色 $\text{CoCl}_3 \cdot 4\text{NH}_3$ 四种配合物溶于水，加硝酸银，立即沉淀的氯化银分别为 3: 2: 1: 1 摩尔，请根据实验事实推断它们所含的配离子的组成。用电导法可以测定电解质在溶液中电离出来的离子数，离子数与电导的大小呈正相关性。请预言，这四种配合物的电导之比呈现什么定量关系？